

# El conocimiento del oleaje en España y su trascendencia para la gestión litoral

Francisco José TORRES ALFOSEA

Torres Alfosea, F.J. 2012. El conocimiento del oleaje en España y su trascendencia para la gestión litoral. En: Rodríguez-Perea, A., Roig-Munar, F.X., Pons, G.X., Martín-Prieto, J.À., Mir-Gual, M. y Cabrera, J.A. (eds.). *La gestión integrada de playas y dunas: experiencias en Latinoamérica y Europa*: Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 19: 123-139. ISBN: 978-84-616-2240-5. Palma de Mallorca.

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

La gestión  
integrada de  
playas y  
dunas:  
experiencias  
en  
Latinoamérica  
y Europa

Conocer el comportamiento del clima marítimo, y especialmente del oleaje, es vital para determinar el alcance tierra adentro de la zona marítimo-terrestre, y por tanto para fijar los deslindes del dominio público. Al mismo tiempo, una abundante y fiable información sobre el oleaje en los diferentes puntos de la costa española permitirá garantizar las condiciones de navegación y salvaguardar personas, bienes y las condiciones ecológicas de este entorno. Sin embargo, a pesar de la obligatoriedad impuesta por el Reglamento de la Ley de Costas, la disponibilidad de un banco de datos oceanográfico sobre clima marítimo es un hecho relativamente reciente. Las redes automáticas de medición del oleaje, escasas y dispersas, han experimentado una reciente mejora en los últimos años, pero aún distan mucho de aportar la suficiente información. Para paliar esta deficiencia, se simula el comportamiento del oleaje mediante modelos predictivos. Su utilización, cada vez mayor, debe ser, sin embargo, puntual, y sólo como complemento de los datos obtenidos por el instrumental específico.

**Palabras clave:** zona marítimo-terrestre, olas, oleaje, clima marítimo, boyas, redes automáticas de medición del oleaje.

KNOWLEDGE OF THE SEAS IN SPAIN AND ITS SIGNIFICANCE FOR COASTAL MANAGEMENT. To know the behavior of the maritime climate, and especially of the surge, it is vital to determine the inland scope of the maritime-terrestrial zone, and therefore to fix the limits of the public domain. At the same time, abundant and trustworthy information about the surge in the different points of the Spanish coast will allow to guarantee the conditions of navigation and to safeguard persons and goods, as well as the ecological conditions of this environment. Nevertheless, in spite of the legally binding imposed by the Regulation of the Coastal Law, the availability of an oceanographic memory bank on maritime climate it is rather a recent fact. The automatic networks to measure the surge, until now scarce and dispersed, have in the last years experienced a recent improvement, although they are still really far from providing all the information required. To conceal this fault, the behavior of the surge is simulated by means of predicting models. Its increasing utilization, must be, nevertheless, punctual, and only as a complement of the information

obtained by the specific set of instruments.

**Key words:** *maritime-terrestrial zone, waves, surge, maritime climate, buoys, automatic networks of measurement of the surge.*

*Francisco José TORRES ALFOSEA, Dpto. de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Universidad de Alicante, Apdo. de correos 99 – 03080 – Alicante, francisco.torres@ua.es.*

## **El clima marítimo y la ordenación del territorio**

La zona marítimo-terrestre, es, con toda probabilidad, uno de los conceptos litorales manejados con más frecuencia por los medios de comunicación y la ciudadanía en general. Sin embargo, en la mayor parte de las ocasiones se alude a este espacio de manera imprecisa, cuando no equívoca, identificándolo casi siempre con la orilla del mar o, de modo más amplio, pero también erróneo, con el concepto de dominio público marítimo terrestre.

Lo cierto, sin embargo, es que la zona marítimo terrestre (zmt en lo sucesivo) es un concepto territorial antiguo, enunciado por primera vez en la extinta Ley de Puertos de 1880, donde aparecía definido como “el espacio de las costas que baña el mar en su flujo y reflujo en donde sean sensibles las mareas, o las mayores olas en los temporales ordinarios en donde no lo sean”. Esta definición, que alude al necesario conocimiento de mareas y oleaje para poder definir adecuadamente este espacio, se repitió de modo textual en la Ley de Puertos de 1928, y en la Ley de Costas de 1969, de modo que ha permanecido en vigor hasta la entrada en vigor del actual texto, la Ley 22/1988, que acaba de cumplir su vigésimo cuarto aniversario.

En el texto actual la zmt se define de un modo diferente: “es zona marítimo-terrestre el lugar hasta donde llegue o sea sensible el oleaje en los mayores temporales conocidos”. Para desarrollar

este artículo, el legislador redactó en el Reglamento de la Ley, aprobado mediante el RD 1.471/1999, que “para fijar el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos, se utilizarán las referencias comprobadas de que se disponga” (art. 3 de la Ley 22/1988, de Costas y art. 4 del Reglamento de la Ley de Costas).

La zmt se convierte, por lo tanto, por su ubicación, en el primero de los bienes de dominio público emergidos. Tras él, tierra adentro, se encontrarían, en una morfología de acumulación ideal, la playa, el cordón dunar y un humedal, todos ellos espacios pertenecientes al dominio público marítimo-terrestre. Desgraciadamente es habitual que falten algunos de éstos, especialmente humedales y dunas (conviene recordar que estas últimas no se incorporan al demanio hasta 1988), pero lo que en ningún caso está ausente, sea cual sea la morfología costera, es la zona marítimo-terrestre, en tanto que siempre existe un espacio bañado por el oleaje y afectado por los temporales.

La intensidad de un temporal, por lo tanto, determina la amplitud de la zona marítimo-terrestre. En otras palabras, puesto que la acción de los temporales condiciona la extensión del demanio, es fenómeno de obligado conocimiento a la hora de elaborar la clasificación y calificación del suelo, y en última instancia, la ordenación del territorio litoral. De ahí su importancia.

Ante esta determinación legal, dos preguntas surgen de inmediato: ¿hasta dónde llega la acción del oleaje en los

mayores temporales ordinarios? y además, ¿de qué referencias comprobadas se dispone, para determinar el límite interior de la zona marítimo-terrestre? Para responder a ambas es necesario disponer de un banco de datos de clima marítimo, que recoja las situaciones de tiempo extremas en fecha histórica, o al menos con una amplitud de registro mayor de treinta años, conforme a la recomendación de la Organización Meteorológica Mundial. En 1988, el propósito del legislador era optimista a la hora de establecer los cauces para obtener y gestionar esa información: mediante el artículo 203 del Reglamento de la Ley de Costas, se encomendaba al entonces Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, el desarrollo de un banco de datos oceanográfico, “que sirva para definir las condiciones de clima marítimo en la costa española, para lo cual las distintas Administraciones Públicas deberán suministrar la información que se les recabe”. Este banco de datos tendría carácter público, sería accesible mediante petición escrita del interesado –previo pago de las tasas que se establecieran-, y debería contemplar, entre otros elementos del clima marítimo, al menos vientos, oleaje, corrientes y mareas.

Este banco de datos permitiría, pues, definir adecuadamente las áreas de riesgo por temporales en las costas españolas, tarea vital –en primer lugar– para garantizar la seguridad de sus ocupantes, la pervivencia de las actividades productivas y la conservación de sus valores culturales y ambientales. Pero además, como acabamos de ver, resulta imprescindible para determinar la adscripción de un espacio o no a la zona marítimo-terrestre, y por lo tanto, al dominio público marítimo-terrestre, con lo que conocer el oleaje y los temporales se convierte –por imperativo legal, no por

capricho– en paso previo indispensable para la ordenación del territorio en las áreas costeras.

Sin embargo, a pesar de tan relevante trascendencia, y de la obligatoriedad marcada en el Reglamento de la Ley de Costas, hasta 2003 no se ha dispuesto de una base de datos que recoja, de forma aproximada, esa información, procedente de las redes automáticas de medida del oleaje. El conocimiento de este agente de la dinámica marina sigue siendo, en España, escaso –en la medida en que las muestras lo son-, y poco relevante en tanto se recurre con frecuencia a extrapolaciones y modelizaciones a partir de una información reducida.

Para el caso español, es posible diferenciar cuatro etapas diferentes en la disponibilidad de información sobre clima marítimo, desde la más antigua, basada tan sólo en el manejo de las escalas de viento y oleaje, hasta las más recientes, asentadas sobre un sistema de boyas automáticas. Pero todas, desde aquellas que recogían datos cualitativos y perceptuales, hasta las que son fruto de mediciones de gran exactitud, adolecen de una notable falta de información sobre buena parte del perímetro costero nacional. La cuestión, poco analizada, es relevante a la hora de la ordenación del territorio

## **Las escalas de medición. Primeras observaciones de vientos y oleaje**

Una definición de oleaje comúnmente aceptada es aquella que lo identifica como las ondulaciones producidas en la superficie del mar por la actuación continuada del viento sobre su superficie, siempre y cuando de dicha actuación resulten ondas aleatorias separadas por un periodo de entre 1 y 30 segundos. El viento condiciona el oleaje de tres modos

diferentes: mediante su fuerza (velocidad del viento), mediante su regularidad (un viento constante de 80 km/h provoca oleaje mayor que rachas puntuales de 100), y mediante el fetch o distancia máxima sobre la superficie marina en la que el viento puede incidir para dar lugar al oleaje<sup>1</sup>. Iribarren (1954), se sirvió de ésta para calcular la altura máxima teórica de la ola al llegar a la costa, que obtuvo multiplicando 1'2 por la raíz cuarta del valor de fetch, y dividiendo el resultado

entre dos. La aplicación de esta fórmula, posteriormente modificada y mejorada, aporta la altura máxima teórica que el oleaje puede generar en la costa, en condiciones ideales de viento y fetch.

Para el litoral mediterráneo es infrecuente que el valor máximo teórico de altura de ola significativa<sup>2</sup> resulte mayor de siete metros, incluso tratándose de componentes levantinas, que son las que ofrecen mayor longitud de fetch -desde las costas italianas, a veces on más de 1.300

Fuerza	Nombre	Velocidad			Efectos del viento en alta mar
		nudos	m/s	km/h	
0	Calma	1	0-0'2	1	La mar está plana, como un espejo
1	Ventolina	1-3	0'3-1'5	1-5	Se advierten rizos en la superficie, como escamas, pero sin espuma
2	Flojito	4-6	1'6-3'3	6-11	Aparecen pequeñas olas; crestas de apariencia vítrea, pero sin romperse
3	Flojo	7-10	3'4-5'4	12-19	Pequeñas olas; crestas rompientes; espuma vítrea y aislados vellones
4	Bonancible o moderado	11-16	5'5-7'9	20-28	Crecen pequeñas olas, con cabrilleo numeroso y frecuentes borreguillos
5	Fresquito	17-21	8'0-10'7	29-38	Olas medianas y alargadas; cabrilleo con salpicaduras
6	Fresco	22-27	10'8-13'8	39-49	Olas grandes, crestas de espuma blanca y salpicaduras frecuentes
7	Frescachón	28-33	13'9-17'1	50-61	El mar crece, y la espuma blanca de las olas es arrastrada por el viento
8	Temporal	34-40	17'2-20'7	62-74	De las olas se desprenden rociones en torbellinos. Nubes blancas de espuma
9	Temporal fuerte	41-47	20'8-24'4	75-88	Visibilidad se reduce por salpicaduras. Espesas estelas de espuma.
10	Temporal duro	48-55	24'5-28'4	89-102	Olas muy grandes con largas crestas en penachos; el viento dispersa la espuma.
11	Temporal muy duro	56-63	28'5-32'6	103-117	Olas excepcionales (pueden ocultar barcos medios); mar cubierto por espuma
12	Temporal huracanado	64 y más	32'7 y más	118 y más	Aire y mar llenos de espuma y de rociones. Olas descomunales. Sin visibilidad

\* Nudo es la unidad de velocidad para la navegación, definida como una milla náutica (1.852 m/h).

**Tabla 1.** Escala Beaufort del viento.

**Table 1.** Beaufort Wind Scale.

Grado	Altura de ola	Castellano	Francés	Inglés
0	0 m.	Mar llana o calma	Mer calme	Calm sea
1	0 – 0'1 m.	Mar rizada	Mer ridée	Rippled sea
2	0'1 – 0'5 m.	Marejadilla	Mer belle	Smooth sea
3	0'5 – 1'25 m.	Marejada	Mer peu agitée	Slight sea
4	1'25 – 2'5	Fuerte marejada	Mer agitée	Moderate sea
5	2'5 – 4 m	Mar gruesa	Mer forte	Rough sea
6	4 – 6 m.	Mar muy gruesa	Mer très forte	Very rough sea
7	6 – 9 m	Mar arbolada	Mer grosse	High sea
8	9 – 14	Mar montañosa	Mer très grosse	Very high sea
9	14 y más	Mar enorme	Mer enorme	Phenomenal sea

**Tabla 2.** Escala de la mar de viento de Douglas (escala del oleaje).

**Table 2.** Douglas scale of the sea wind (scale waves)

km, pero estudios anteriores ya anunciaban que en situaciones excepcionales, la altura de ola significativa en la línea de rompientes podría alcanzar picos teóricos de 10'8 metros con vientos de 30 nudos constantes para la máxima distancia de fetch (Rosselló, 1979).

La relación entre viento y oleaje es tan estrecha, que las primeras referencias del segundo se hacían, necesariamente, a través de la escala anemométrica propuesta por el almirante al servicio de la armada francesa Beaufort, en 1806<sup>3</sup>. Se trata de una escala internacional para la medición del viento, dividida en trece grados (llamados fuerza), del 0 al 12, y que contempla el estado de la mar ante vientos de esas velocidades.

Sin embargo, a pesar de una cierta traslación al aspecto de la mar, la escala de Beaufort se concibe sólo como referencia sobre la velocidad del viento. En cada zona, según los idiomas, el estado de la mar recibe diferentes nombres, cuya traducción muchas veces ha llevado a la confusión entre los navegantes (por ejemplo, “mar gruesa” en castellano equivale a una altura

menor de olas que la “mer grosse” en francés). Para evitar este problema, y poder realizar estudios comparados de alturas de olas, y cálculos de riesgo asociado, se emplea como referencia internacional la escala propuesta por el almirante británico H.P. Douglas en 1921, que se divide en diez grados (de 0 a 9).

## Las observaciones en España: los semáforos marítimos

Ahora bien, ¿cómo se determina la altura de la ola? Las primeras observaciones eran eminentemente perceptuales: desde la costa o desde las embarcaciones, los navegantes estimaban la altura de la ola mediante un simple análisis visual, y se establecía la correspondencia con el grado Douglas que pareciera más apropiado.

Esta información, en apariencia poco fiable, era sin embargo la única fuente disponible para evaluar el estado de la mar en situaciones de temporal.

Para el caso español, las referencias visuales contaron con un importante respal-



do gubernamental, ya desde mediados de los años cuarenta.

En efecto, como explica Sánchez Aylo (1990), en septiembre de 1945, numerosos funcionarios de las Fuerzas Armadas comenzaron a realizar observaciones meteorológicas desde doce puntos de observación privilegiados, generalmente faros, a los que se denominó “semáforos marítimos”.

Se encontraban en las siguientes ubicaciones: *Cantábrico oriental* (semáforos de Pasajes y Punta Galea, en Guipúzcoa y Vizcaya, respectivamente), *Cantábrico occidental* (semáforos de Cabo Peñas y Estaca de Bares, en Asturias y Coruña), *Finisterre* (semáforo de Monteventoso y Finisterre, en Coruña), *Estrecho de Gibraltar* (semáforos de Tarifa y Monte Hacho, en Cádiz y Ceuta), *Sudeste peninsular* (semáforos de Castillo Galeras y

Cabo San Antonio, en Murcia y Alicante), *Nordeste peninsular* (semáforo de Cabo Begur, en Girona) y *Mallorca* (semáforo de La Mola, en dicha isla)

Ya no funciona casi ninguno, pero desde ellos se realizaron –y anotaron fielmente– observaciones sobre el estado de la mar durante hasta 1969 y 1988, según los casos, es decir, en un periodo de 24 ó 43 años, suficientemente dilatado como para no ser tenido en cuenta.

Como resultado de estas observaciones es posible realizar un primer acercamiento al análisis comparado del estado de la mar en los distintos tramos de costa peninsular y balear (no hubo semáforo alguno para Canarias).

Y los datos tienen interés, porque desmitifican la idea de un Mediterráneo calmo frente a un Cantábrico vigoroso: no cabe hablar, a la vista de la tabla 3, de zonas



**Fig. 1.** Localización de los semáforos marítimos.  
**Fig. 1.** Location of maritime traffic lights.

Fuente: Sánchez Aylo (1990).

libres de malos estados de la mar; de hecho, toda la costa española (salvo Canarias) ha contemplado estados máximos de la mar de "arbolada", es decir, con olas entre 6 y 9 metros de altura; sólo el tramo de Finisterre supera esta cifra, y arroja valores de "mar montañosa", entre 9 y 14 metros. En ningún tramo costero se advirtió durante ese periodo un estado *enorme*, con olas de más de 14 metros de altura.

Sí hay, en cambio, diferencias en la duración de los episodios. En general, los registros de mar gruesa o superior en el Mediterráneo duran un máximo de ocho días consecutivos, mientras en el Cantábrico pueden prolongarse hasta las dos semanas.

La razón parece clara: el Mediterráneo es fachada de sotavento, mientras Cantábrico y Atlántico quedan expuestos sin protección ante los flujos occidentales, más constantes y regulares. Además, las observaciones realizadas desde los semáforos mediterráneos -donde dominan los levantes- arrojan valores de velocidad de viento algo inferiores a los cantábricos -donde imperan los mistrales-, pero no lo suficiente, pues bastan para dar lugar también a estados de mar arbolada.

## Las primeras redes automáticas de medida del oleaje

A pesar del interés de las observaciones practicadas desde los doce semáforos marítimos, su utilidad es cuestionable, más allá de como mero valor indicativo, puesto que las apreciaciones las realizaba personal especializado, pero de forma enteramente visual, y la escasez de registros obligaría a extrapolar las observaciones de un semáforo a toda una región marítima.

Sin embargo, durante años esta ha sido la única información de la que se disponía acerca del estado de la mar en la

costa. Hasta 1974 no se establece la primera Red Automática de Medida y Registro del Oleaje (REMRO). Consistía ésta en la instalación de veinte boyas *waverider*, que envían continuamente señal por radio a una estación costera. Se trataba de boyas de tipo *escalar*, es decir, que informaban de la altura de la ola, pero no de la componente con la que ésta incide, dato indispensable a la hora de determinar el riesgo potencial en un área de la costa.

La deficiencia se solventa parcialmente en 1987, cuando entra en funcionamiento la Red de Estaciones Medidoras del Oleaje Direccional (REMODO), basada en cinco boyas direccionales *wavescan*, situadas en Bilbao, Coruña, Finisterre, Algeciras y Mahón, y que registraban información acerca de la componente de los trenes de olas. Nuevamente quedaba sin cubrir Canarias, y es manifiesta la falta de datos en el Mediterráneo, donde Mahón (y en todo caso la periférica Algeciras) eran las únicas referencias. En 1990 entra en funcionamiento la Red de Mareógrafos (REDMAR), para ampliar los datos disponibles por las Autoridades Portuarias. Estaba basada en trece estaciones *sonar*, de medición de las mareas, instaladas en el interior de las dársenas portuarias. La ubicación del instrumental adscrito a estas tres redes se recoge en la Fig. 2. Si la falta de información era notable en el caso de las observaciones cualitativas que proporcionaron los semáforos marítimos, la situación a partir de la instalación de estas tres redes es considerablemente distinta.

En primer lugar, hay más puntos de información a lo largo de la costa española.

En segundo, se trata de datos de mayor fiabilidad, recogidos mediante instrumental calibrado, y no resultado de la percepción humana.

No obstante, las carencias continúan siendo notables: por citar dos evidentes deficiencias, sólo se conoce la dirección del

oleaje en cinco puntos concretos de los casi 8.000 kilómetros de costa que tiene España; y sobre la altura de las olas, entre Bilbao y Coruña, sólo existen datos de Gijón, a pesar de las numerosas instalaciones portuarias que hay en todo el Cantábrico.

## Las recomendaciones para obras marítimas (R.O.M.)

Con semejante escenario, parece evidente que la determinación de la Ley de Costas, con la que comenzaba esta comunicación, no podía verse cumplida. Las referencias comprobadas de que se dispone para evaluar el alcance de las olas en los mayores temporales son pocas, y a veces ninguna, con lo que los técnicos encargados de practicar los deslindes deben fijar el límite interior de la zona marítimo-terrestre mediante criterios perceptuales, referencias históricas o por valoración subjetiva.

Consciente de la necesidad de dar salida a esta situación, el desaparecido Ministerio de Obras Públicas y Transportes,

a través de la Dirección General de Puertos, comenzó en 1987 un programa en el ámbito de las obras marítimas y portuarias, con el fin de redactar un conjunto de recomendaciones o “códigos de buena práctica” para el proyecto y ejecución de dichas obras. Se trata de las conocidas como Recomendaciones para Obras Marítimas (habitualmente ROM), orientadas sobre todo a la ingeniería portuaria.

En 1991, dentro de la ROM-0.3 (Recomendaciones generales) se publicó el anejo sobre clima marítimo en el litoral español, relativo al oleaje.

A pesar de que el término *recomendaciones* pudiera sugerir lo contrario, en realidad de las R.O.M. se derivaban datos de obligatoria consideración a la hora de emprender cualquier actuación en el litoral, pues, como en la misma publicación se indica, resulta de aplicación obligada “en el proyecto, construcción y explotación de todas las obras marítimas y portuarias, cualquiera que sea su clase y destino”, lo que supone que, a la hora de realizar los cálculos para el diseño de diques y estruc-

Zona	Años de observación	Máximo estado de la mar observado			Días consecutivos con mar gruesa o superior
		Estado	Componente	Velocidad (km/h)	
Cantábrico oriental	24	Arbolada	NW	100-130	6
Cantábrico occidental	24	Arbolada	SW a NW	70-90	14
Finisterre	43	Montañosa	W a NW	110-130	16
Estrecho de Gibraltar	43	Arbolada	W	110-130	10
Sudeste peninsular	43	Arbolada	NE	90-110	5
Nordeste peninsular	24	Arbolada	N	80-110	8
Mallorca	43	Arbolada	NE	80-90	5

**Tabla 3.** Observaciones del estado de la mar desde semáforos marítimos (1945-1988). Fuente: Sánchez Aylo (1990).

*Tabla 3. Observations of sea state from maritime traffic lights (1945-1988).*



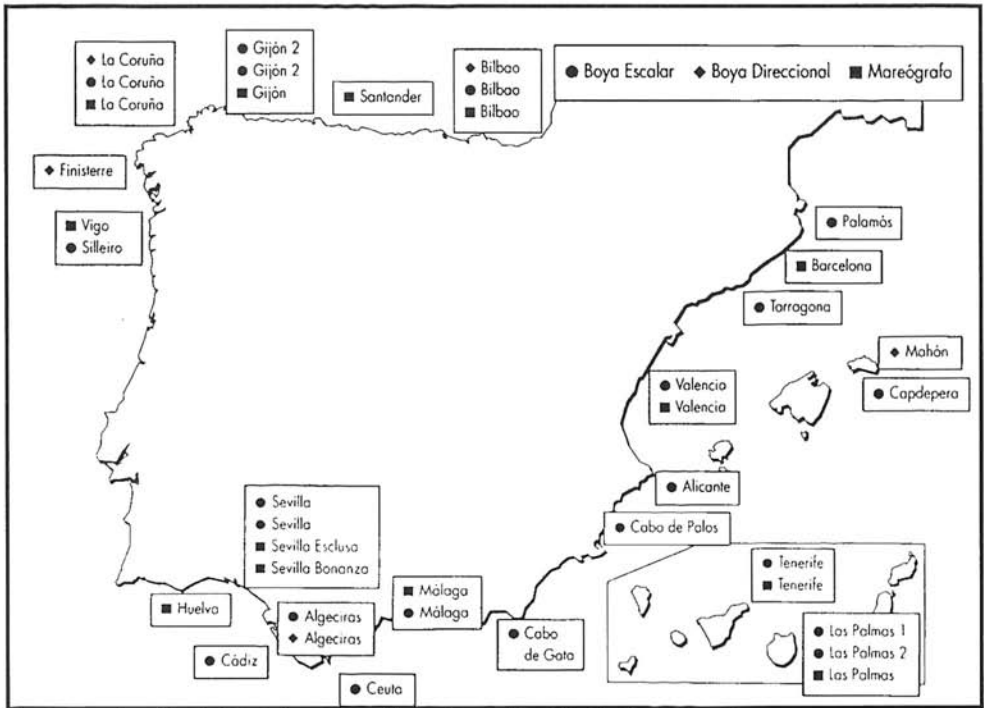


Fig. 2. Localización de las redes automáticas de medida del oleaje en España.

Fig. 2. Location of automatic measuring networks swell in Spain.

Fuente: Martínez, Pérez y Santás (1996).

turas de abrigo y atraque, deben respetarse los periodos de retorno y las máximas alturas de olas que se apuntan en la R.O.M.

Pero... ¿de qué fuente se sirvió el MOPT para redactar esas recomendaciones?.

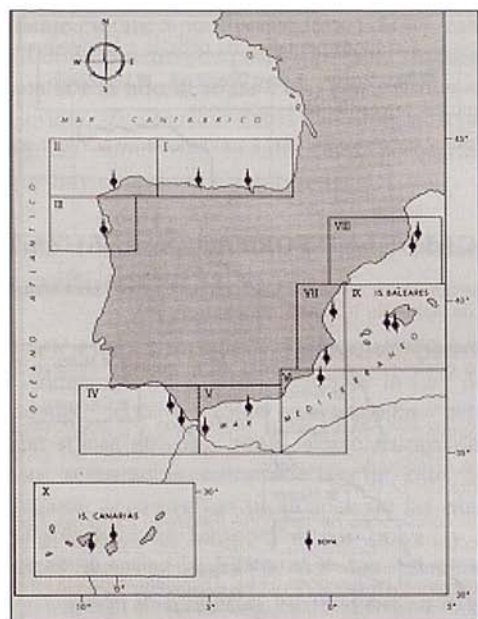
Lógicamente, de la única disponible: la información suministrada por las boyas escalares y direccionales que llevaban funcionando desde 1974 y 1987, respectivamente, es decir, de las redes REMRO y REMOD, o mejor dicho, de aquellas que aún funcionaban, pues varias ya no estaban operativas.

Convertir en vinculante un cálculo sobre clima marítimo que se basa en mediciones puntuales e incompletas es, cuando menos, un atrevimiento, por no decir una irresponsabilidad. Las ROM deberían entenderse como un documento

consultivo, no de referencia. La figura 3 refleja la ubicación de las boyas empleadas y cuyos datos se extrapolan, sin rubor, a cada una de las diez regiones costeras en las que se ha dividido el perímetro nacional.

## El proyecto R.A.Y.O. (1996-1998)

Consciente de la necesidad de adecuar la información sobre clima marítimo a los estándares europeos, y, sobre todo, con el fin de mejorar las condiciones de navegación en las zonas de mayor tráfico marítimo (Finisterre y Golfo de Cádiz, especialmente), el Estado Español planteó a la Unión Europea la posibilidad de establecer una red de radares y boyas en determinados puntos de la costa que enriquecieran la información disponible sobre clima marítimo y que permitieran, a



**Fig. 3.** Localización de las boyas empleadas para las R.O.M..

**Fig. 3.** Location of the buoys used for the ROM.

Fuente: MOPT (1992: 34)

su vez, garantizar la seguridad en la navegación. La necesidad no sólo era evidente, a la vista de la deficiente red de la que disponía España, sino, sobre todo, se trataba de evitar, en la medida de lo posible, que se pudieran repetir las catástrofes ambientales que supusieron los naufragios de buques petroleros que se habían producido entre Galicia y Bretaña en los años anteriores. Particularmente tres de ellas habían supuesto considerables daños ecológicos y económicos

-Buque Urquiola (12 de mayo de 1976). Embarrancado frente a Coruña, derramó 100.000 tm de crudo.

-Buque Amoco Cádiz (16 de marzo de 1978), frente a las costas de Bretaña. Derramó 200.000 tm de petróleo. Fue el primer caso en el que se condenó a la empresa propietaria (American Oil Co, actualmente dentro del grupo BP), a pagar indemnizaciones por los daños causados.



**Fig. 4.** Las Recomendaciones para Obras Marítimas: primera edición de las R.O.M. (MOPT, 1991) y edición actual (Fomento, 2001).

**Fig. 4.** Recommendations for Maritime Works: first edition of the ROM (MOPT, 1991) and current edition (Works, 2001).

-Buque Mar Egeo (3 de diciembre de 1992). Derramó 80.000 tm frente a Coruña y las rías gallegas<sup>4</sup>.

Estas tres tragedias, junto con la del Exxon Valdez, que el 24 de marzo de 1989 derramó 41.600 tm frente a Alaska, sin duda contribuyeron a que, desde la Unión Europea se fuera especialmente sensible con estos problemas y se financiara el proyecto presentado por Puertos del Estado.

Éste, bautizado como *Proyecto RAYO* (iniciales de *Red de Alerta Y Observación*) fue financiado en un 85 % por Fondos Europeos del Banco Europeo de Inversiones (BEI), y por el Ente Puertos del Estado (del Ministerio de Obras Públicas español) en el 15 % restante.

El proyecto, por las razones expuestas, se presentó para dotar de mejores medios a las costas de las Comunidades Autónomas con más tránsito marítimo. Así, quedó limitado a cuatro regiones: Asturias, Galicia, Andalucía y Canarias. La financiación permitió instalar doce puntos de medición más, sumados a los de las redes existentes (REMRO, EMOD y EDMAR). De esa docena, tres eran radares, tres boyas portuarias que actuarían a modo de mareógrafos, tres

correntímetros y tres boyas direccionales. Tal y como se solicitó en el proyecto propuesto, las boyas ofrecen datos múltiples, sobre temperatura del agua, salinidad, y otros parámetros físico-químicos. Iniciado en 1996, el proyecto terminó en 1998, aunque las boyas instaladas continúan prestando servicio y recabando información; un año más tarde, la tragedia volvería a asomarse al Golfo de Vizcaya, con el hundimiento del Erika, buque de bandera maltesa que en diciembre de 1999 afectó a las costas de Bretaña. El más reciente de estos episodios, el accidente del *Prestige*, con bandera de Bahamas, que se hundió frente a La Coruña en 2002 tras abrirse una vía de agua en su casco, no tuvo tanto que ver con el clima marítimo –aunque el fuerte oleaje contribuyó a que el buque se partiera–, como con el hecho de ser un buque monocasco y con una desafortunada gestión inicial de la catástrofe.

## La situación actual: REDEXT y REDCOST

2003 supuso un punto de inflexión en la dotación de instrumental de medición y registro de los parámetros del clima marítimo.

Por primera vez se establece en España un sistema doble, en función de su proximidad a la costa, que permite obtener datos de altura y dirección del oleaje, fuerza y dirección del viento, temperatura, corrientes, y otros parámetros físico-químicos. Esta red doble recibe los nombres de REDEXT y REDCOST

REDEXT es la red que agrupa aquellas estaciones de medición situadas en aguas exteriores. Llamada también *red de aguas profundas*, en realidad unifica las antiguas RAYO y EMOD.

Está formada por 14 boyas *seawatch* y 3 *wavescan*. Los instrumentos están ubicados en puntos con profundidades entre 260 metros (la de Valencia) y 1.200 metros (la de Cabo Begur), aunque la mayor parte están en zonas entre 500 y 600 metros de profundidad.

Desde 2003 todas están equipadas con medidores de oleaje direccional y recogen parámetros oceanográficos y meteorológicos.

Los datos son transmitidos cada hora vía satélite y se encuentran disponibles a través de la Red, en la página de Puertos del Estado (<http://www.puertos.es>).

Por su parte, la *red costera* (REDCOST) proporciona datos de oleaje en tiempo real en puntos de aguas poco profundas.

En realidad, más que una red de estaciones paralela a la anterior, su objetivo es completar las medidas de la *red exterior* en lugares de especial interés para las actividades portuarias o donde son necesarios datos complementarios que permitan la validación de modelos de oleaje.

Consta de veinte boyas, situadas en zonas que ofrecen menos de 100 m de profundidad. Entre ellas, catorce son escalares (modelo *waverider*)<sup>5</sup>, es decir que, al disponer de un sensor escalar sólo recogen información de la altura de la ola. Las otras seis boyas (modelo *triaxys*)<sup>6</sup>, añaden al sensor escalar otro direccional, de modo que proporcionan datos también de la dirección del oleaje. Algunas regiones cuentan con información amplia, como Andalucía-Zona del Estrecho, donde hay cuatro boyas, a las que habría que sumar dos más en las Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla. Otros lugares, como Baleares, sólo cuenta con una boya REDCOST, al este de la isla de Mallorca.



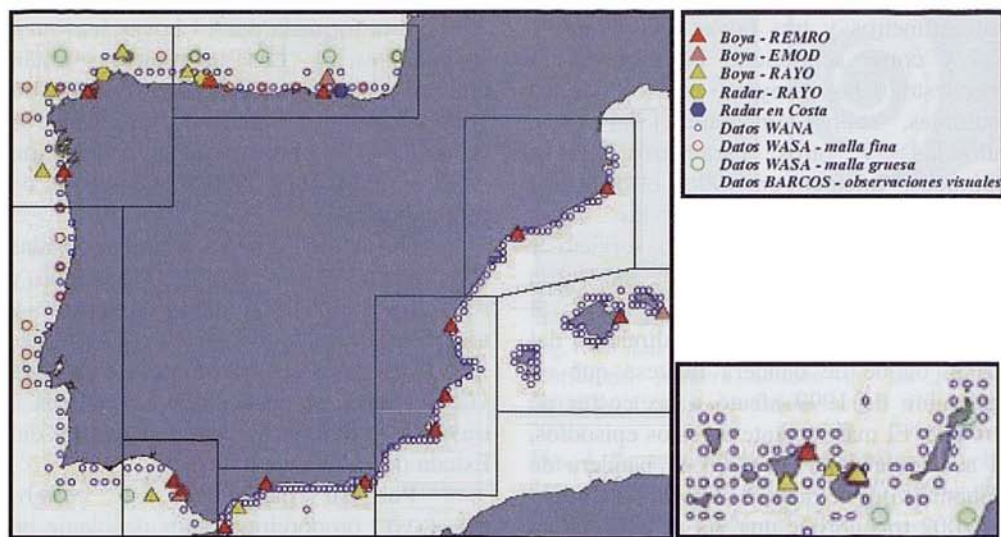


Fig. 5. Localización de las boyas del Proyecto RAYO (en amarillo). Fuente: Puertos del Estado (<http://www.puertos.es>)

Fig.5. Location of Project BEAM buoys (yellow).

## Los datos simulados: puntos WANA, WASA y proyecto HIPOCAS

A los datos recabados por el instrumental referido, el Ministerio (ahora Fomento) añade datos procedentes de cálculos matemáticos, fruto de modelizaciones en condiciones-tipo. No son, por tanto, fruto de medidas obtenidas de la naturaleza, sino datos simulados, conforme el propio Ministerio apunta (Ministerio de Fomento, 2008a). Los conjuntos de datos, que están calculados para lugares equidistantes de la costa y también entre sí, reciben el nombre de *nodos*, y que equivaldrían a hipotéticas boyas que actuarían como *estaciones virtuales de medición*. La información que se calcula para ellas, procede de series temporales de parámetros de viento y oleaje generados por un modelado numérico.

## La serie de datos WANA

La serie WANA deriva del sistema de predicción del estado de la mar que Puertos del Estado ha desarrollado en colaboración con el Instituto Nacional de Meteorología<sup>7</sup>.

Las series comienzan en 1996 y desde ese año se actualizan diariamente. La cadencia de la serie es de un registro cada tres horas Sin embargo, conviene recordar que, tal y como el propio Ministerio advierte (Ministerio de Fomento, 2008a), “los datos WANA no son datos de predicción sino datos de diagnóstico o análisis”.

Esto supone que, para cada instante, el modelo proporciona campos de viento y presión consistentes con la evolución anterior de los parámetros, una vez el conjunto ha sido modelizado y demostrado coherente con las observaciones realizadas. Tampoco las series de viento y oleaje del conjunto WANA son homogéneas, pues el modelo de vientos se modifica de modo periódico.

La utilización de modelos para establecer diagnósticos es necesaria para



completar la información recogida por las redes instrumentales y las observaciones realizadas desde costa y desde los buques.

No obstante, resulta imprescindible matizar los datos procedentes de cálculos, en tanto que los modelos adolecen de una serie de limitaciones que conviene conocer.

Por ejemplo, la resolución para el cálculo de vientos difiere entre el Atlántico (0.5 grados, aproximadamente 60 km) y el Mediterráneo (0.2 grados, equivalentes a 24 km).

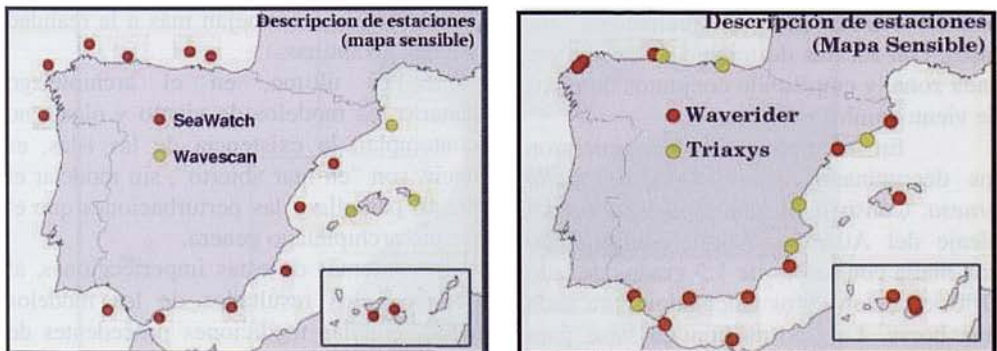
La Fig. 7, de hecho, revela la mayor densidad de nodos en la costa mediterránea, frente al Atlántico, en el que, por cierto, se aplica el modelo también para la costa portuguesa.

Esos mismos datos de viento proceden de promedios horarios a 10 metros de altura sobre el nivel del mar, pero, debido a la resolución con la que se ha integrado el modelo, los datos de viento no reproducen ni efectos orográficos de escala inferior a 15 km, ni procesos con escala temporal inferior a 6 horas, aunque sí es capaz de simular los vientos regionales inducidos por la topografía, como el cierzo, la tramontana o el mistral.

Los datos de oleaje calculado para los nodos WANA también difieren en resolución: 0.25 grados para el Atlántico (30 km) y 0.125 para el Mediterráneo (15 km), y deben considerarse, siempre, como datos en aguas abiertas y para profundidades no definidas.

En suma, a *pesar* de la validez del modelo de simulación, hay que adoptar las siguientes cautelas (Ministerio de Fomento, 2008a):

- En el estrecho de Gibraltar no se reproducen los oleajes propagados de una cuenca a otra, ya que en la aplicación del modelo utilizada, el Estrecho se considera cerrado.
- En el norte de la costa catalana y golfo de León, pueden sobreestimarse las velocidades de viento y las alturas de ola en situaciones de temporal extremo. El Ministerio aconseja no eliminar esos datos sobredimensionados, sino cotejar la magnitud aproximada del temporal con datos instrumentales registrados en la zona.
- En el sur del archipiélago canario pueden no reproducirse bien condiciones procedentes del suroeste.



**Fig. 6.** Las redes de aguas profundas (REDEXT) y de aguas costeras (REDCOST). A la izquierda, la ubicación de las boyas de la red de aguas profundas (REDEXT); a la derecha, las boyas de la red de aguas costeras (REDCOST). En esta última, el color amarillo identifica las seis que informan de la dirección. Fuente: Puertos del Estado (<http://www.puertos.es>).

**Fig. 6.** The deep-water (REDEXT) and coastal waters networks (REDCOST). On the left, the location of the buoys in the deep water network (REDEXT), on the right, the buoys in the network of coastal waters (REDCOST). In the latter, yellow identifies the six locations reporting wave direction.

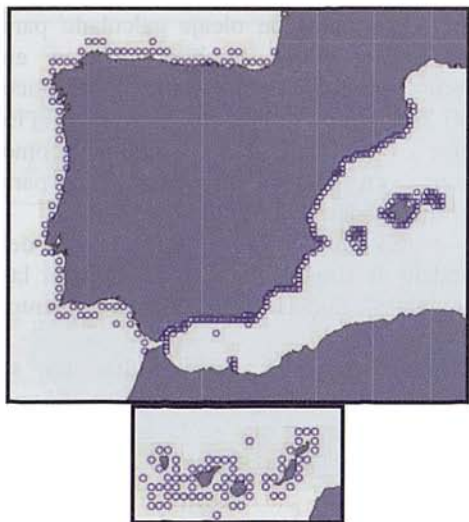


Fig. 7. Localización de los nodos WANA.

Fig. 7. Location of the WANA nodes.

Fuente: Puertos del Estado  
(<http://www.puertos.es>)

### La serie de datos WASA

El conjunto de datos WASA procede de los resultados del proyecto *Waves And Storms in the north Atlantic*, ya concluido, cuyo objetivo era “realizar un retroanálisis de oleaje a partir de campos de viento, a lo largo de un periodo de 40 años” (Ministerio de Fomento, 2006). Dicho análisis retrospectivo se realizó en dos fases, con escalas de trabajo distintas para cada zona, y empleando conjuntos de datos de viento también diferentes.

En la primera fase, se generaron los denominados *datos WASA de malla gruesa*. Consistió en una modelización del oleaje del Atlántico Norte, configurando una malla con celdas de 1.5 grados de lado (180 km), con datos calculados para cada seis horas. La información de base para realizar esta modelización, procede de datyos de viento facilitados por el U.S. Navy Fleet Numerical Oceanography Centre (FNOC), situado en Monterrey (California).

Durante la segunda fase se desarrolló el conjunto de *datos WASA de malla fina*. En ella, se modeló el Atlántico nororiental, la zona que interesa a la península Ibérica, generándose rectángulos de 0.5 grados de latitud y 0.75 grados de longitud (aproximadamente 60 x 90 km), con datos de viento cada tres horas procedentes de la Oficina Meteorológica Noruega (DNMI).

De nuevo, los datos tienen una aplicación indirecta, y una fiabilidad relativa. Por ejemplo, no hay homogeneidad entre las series de datos, ya que la *malla gruesa* sólo reproduce condiciones generales del viento en mar abierto, mientras que la *malla fina* no atiende a los efectos orográficos de dimensiones inferiores a 60 km.

Por otra parte, en el Cantábrico se reproducen con más fiabilidad los estados de la mar fruto de componentes occidentales que los de situaciones generadas por levantes (Ministerio de Fomento, 2006).

En el golfo de Cádiz, por su parte, se vuelve a considerar cerrado el estrecho de Gibraltar, lo que resta veracidad a la simulación en la zona, aunque de nuevo, como en el Cantábrico, las componentes occidentales se asemejan más a la realidad que las levantinas.

Por último, en el archipiélago canario los modelos de viento y oleaje no contemplan la existencia de las islas, es decir, son “en mar abierto”, sin modelar el efecto pantalla y las perturbaciones que el propio archipiélago genera.

Además de estas imperfecciones, al comparar los resultados de los modelos WASA con las mediciones procedentes de las boyas de las redes automáticas, se obtienen índices de correlación de 0.85 para el Cantábrico y 0.7 para el golfo de Cádiz y la zona de Las Palmas.

Es decir, que en el Cantábrico se demuestra el 85 % de las predicciones del



modelo WASA, frente a un 70 % en el golfo de Cádiz y Canarias.

### El conjunto de datos SIMAR-44 (proyecto HIPOCAS)

Entre 2000 y 2003, el Programa Medioambiental de la UE financió el proyecto HIPOCAS (Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe), para la producción de datos atmosféricos y oceanográficos de periodo largo, en concreto entre 1958 y 2001.

Al conjunto de datos resultante del proyecto se le denominó SIMAR-44 (44 por los años de estudio que abarca el periodo).

La participación española dentro de ese proyecto corrió a cargo de Puertos del Estado, que se encargó de realizar la modelización del oleaje en el dominio atlántico. En el cálculo de vientos, la malla empleada para el cálculo de los datos

está compuesta, en este caso, por celdas de 30 grados de lado (aproximadamente 50 km), con un paso de tiempo breve, de sólo 5 minutos. Para el cálculo del oleaje, la malla definida es diferente (celdas de 7.5 grados de lado en el borde oriental, y de 12.5 para el resto).

Los datos obtenidos de la modelización son calibrados a partir de la información registrada de las boyas, cubriendo el mencionado periodo 1958-2001, con un dato cada tres horas.

### Valoración final

A la vista de la información disponible sobre el oleaje y clima marítimo de las costas españolas, parece evidente que existe una enorme laguna (podríamos decir un océano) en la disponibilidad de información directa y fiables.

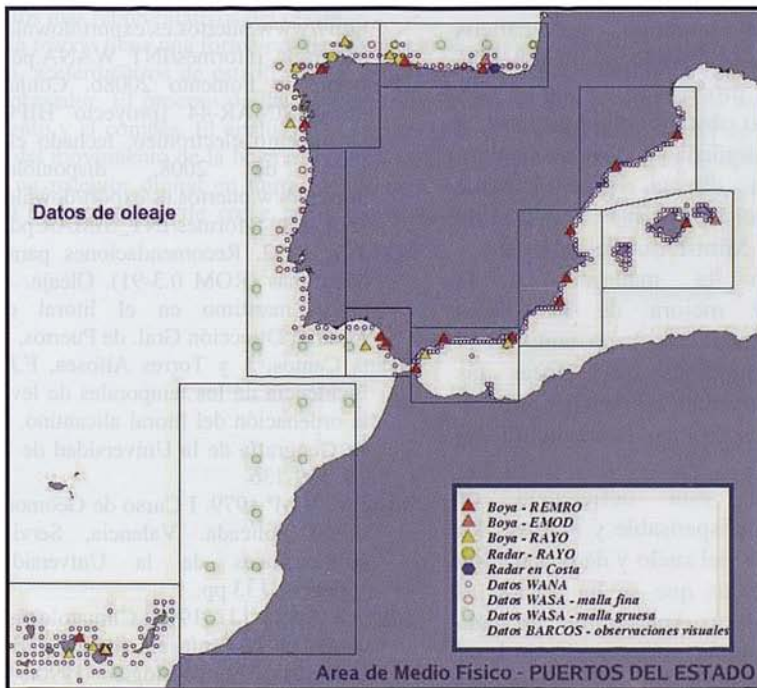


Fig. 8. Localización de los nodos WASA.

Fig. 8. Location of the nodes WASA.

La cuestión no sería grave si no fuera porque, como se apuntaba al principio, el alcance de las olas en los temporales marca la cota de la que se debe servir el técnico a la hora de realizar los deslindes, y por lo tanto, resulta esencial a la hora de condicionar la clasificación y calificación del suelo, en tanto que justifica o no la adscripción de un espacio al dominio público marítimo-terrestre. Es igualmente prioritario conocer mejor el clima marítimo español para prevenir –o reducir el impacto de– las catástrofes derivadas de los naufragios, especialmente aquellos que comportan marea negra

En este sentido, es importante que las tragedias del Urquiola, Mar Egeo y Prestige nos hayan enseñado algo.

Los esfuerzos más recientes, como hemos visto, se centran en el diseño de nuevos y mejores modelos numéricos, que completen la información remitida desde los puntos de medición automáticos (boyas), que a su vez sirven para calibrar la información procedente de las simulaciones. No obstante estas mejoras, a la vista de la antigüedad y escasez relativa de información directa, probablemente convendría incidir más, desde la perspectiva del Ministerio de Fomento –competente en la materia– en la actualización y mejora de las redes automáticas de medición, y no tanto en la aplicación de modelos que, vistas las carencias que presentan, no siempre aportan la fiabilidad necesaria en la medición del oleaje.

Solucionar esta deficiencia de información es indispensable y urgente. La ley de costas y las del suelo y de ordenación del territorio de las que se ha dotado el Estado Español y sus Autonomías, de nada sirven si no existe la información de base que las haga aplicables. Urge denunciar este hecho, y poner en marcha las medidas adecuadas. De no hacerlo, se contribuye a

la proliferación de recursos ante los tribunales por inadecuada aplicación de los deslindes, a la inseguridad jurídica de los habitantes de nuestro litoral y, sobre todo, a su inseguridad física ante un episodio extremo de temporal marítimo.

## Bibliografía

- Iribarren Cabanillas, R. 1954. Obras marítimas. Oleajes y diques, Madrid, Dossat, 376 pp.
- Martínez, M., Pérez, B. y Santás, J.C. 1996. Oleaje y mareas: redes de medida operativas en España. Ingeniería civil, 104: 91-104.
- Ministerio de Fomento 2006. Conjunto de datos WASA. Documento electrónico publicado, fechado el 3 de febrero de 2006. [http://www.puertos.es/export/download/oceanografia\\_informes/INT\\_WASA.pdf](http://www.puertos.es/export/download/oceanografia_informes/INT_WASA.pdf).
- Ministerio de Fomento 2008a. Informe sobre los datos WANA. Documento electrónico, fechado el 17 de julio de 2008. [http://www.puertos.es/export/download/oceanografia\\_informes/INT\\_WANA.pdf](http://www.puertos.es/export/download/oceanografia_informes/INT_WANA.pdf).
- Ministerio de Fomento 2008b. Conjunto de datos SIMAR-44 (proyecto HIPOCAS). Documento electrónico, fechado el 17 de julio de 2008, disponible en [http://www.puertos.es/export/download/oceanografia\\_informes/INT\\_SIMAR.pdf](http://www.puertos.es/export/download/oceanografia_informes/INT_SIMAR.pdf).
- M.O.P.T. 1992. Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 0.3-91). Oleaje. Anejo I clima marítimo en el litoral español. Madrid, Dirección Gral. de Puertos, 76 pp.
- Olcina Cantos, J. y Torres Alfosea, F.J. 1997. Incidencia de los temporales de levante en la ordenación del litoral alicantino. Papeles de Geografía de la Universidad de Murcia, 26: 109-136.
- Rosselló, V.M.<sup>a</sup> 1979. I Curso de Geomorfología litoral aplicada. Valencia, Servicio de publicaciones de la Universidad de Valencia. 133 pp.
- Sánchez Aylo, J.L. 1990. Climatología de las costas de la Península Ibérica y Baleares. Calendario Meteorológico 1990. Madrid, INM. pp. 209-211.



<sup>1</sup> Es ésta la definición del fetch teórico máximo. La distancia de fetch, expresada en kilómetros, es la que separa el hogar de una masa de aire generadora de oleaje de superficie de la costa contra la que éste incide, siguiendo las direcciones de la rosa de los vientos.

<sup>2</sup> Altura de ola significativa es un valor estadístico, resultado de la media del tercio de olas más alto.

<sup>3</sup> La fecha de la formulación de la escala de Beaufort no es casual. La derrota franco-española en Trafalgar el año anterior motivó el impulso de los estudios de clima marítimo en Francia, y después, en el resto de Europa.

<sup>4</sup> La del Mar Egeo es, probablemente, la tragedia que mejor evidencia la necesidad de disponer de información fiable sobre clima marítimo. El buque, de bandera griega, contaba con doble casco (no así el *Prestige*, accidentado diez años más tarde, en noviembre de 2002). Además, había superado satisfactoriamente las inspecciones y revisiones a las que fue sometido. Sin embargo, en la madrugada del 3 de diciembre de 1992, cuando el buque iba a entrar en el puerto de La Coruña, se registraron vientos no previstos por encima de los 100 km/h y visibilidad inferior a los 100 m. Esto provocó que el Mar Egeo se desviara del rumbo fijado por los prácticos y embarrancara. A las ocho de la mañana, el buque se partió y explosionó, lo que causó una gran humareda negra y llamas de hasta 50 m de altura. Un adecuado conocimiento de las condiciones de clima marítimo habría podido evitar la catástrofe.

<sup>5</sup> La boya *waverider* tiene forma esférica con un diámetro de 0.7 m. El sensor de medida (en el interior del casco de la boya) es un acelerómetro suspendido dentro de una esfera en un líquido con una conductividad concreta. Las medidas instantáneas de diferencias de potencial así obtenidas son convertidas a aceleraciones. Éstas se integran dos veces para, finalmente, obtener las elevaciones que componen la serie temporal de datos brutos. La transmisión a la estación costera se realiza vía radio. La señal analógica es convertida a digital y analizada. De esta forma se dispone, en tiempo real, de los parámetros más representativos del oleaje.

<sup>6</sup> La boya *triaxis* tiene una forma esférica de 91 cm de diámetro. Dispone de un sensor de temperatura del agua, acelerómetros de estado sólido, un giróscopo piezoeléctrico y un compás controlado por microprocesador. El proceso de datos se realiza a bordo de la boya utilizando los seis sensores de movimiento y el compás. El análisis de datos se basa en la solución numérica de las ecuaciones no lineales del movimiento de la boya respecto a un sistema de referencia fijo. La señal se transmite vía radio a un receptor digital en tierra, donde se almacenan en tiempo real los diversos parámetros escalares (espectrales y de cruce por cero) y direccionales que caracterizan los estados de mar.